

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**EVALUACION GEOLOGICA - GEOTECNICA CON FINES DE
AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA
POTABLE Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DESAGUE EN
LA LOCALIDAD DE TUNAL - LALAQUIZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO GEÓLOGO**

BR. DIGNA ISABEL AGURTO CORREA

PIURA - PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**EVALUACION GEOLOGICA - GEOTECNICA CON FINES DE
AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA
POTABLE Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DESAGUE EN
LA LOCALIDAD DE TUNAL - LALAQUIZ**

PRESENTADO POR:

Br. DIGNA ISABEL AGURTO CORREA
EJECUTOR

Dr. Ing. JUAN FRANCISCO MOREANO SEGOVIA
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



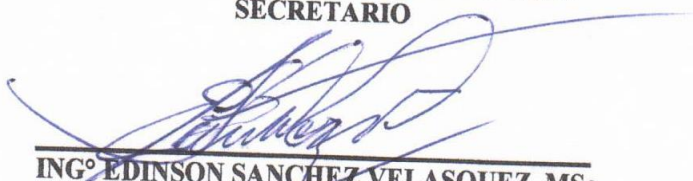
TESIS

**EVALUACION GEOLOGICA - GEOTECNICA CON FINES DE
AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA
POTABLE Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DESAGUE EN
LA LOCALIDAD DE TUNAL - LALAQUIZ**

APROBADA POR:


DR. ING° HIPOLITO TUME CHAPA
PRESIDENTE


ING° WALTER UMERES RIVEROS MSc.
SECRETARIO


ING° EDINSON SANCHEZ VELASQUEZ MSc.
VOCAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
DECANATO

"AÑO DEL DIÁLOGO Y LA RECONCILIACIÓN NACIONAL"

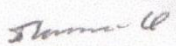
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS


Los Miembros del Jurado Calificador nombrados mediante Resolución N° 740-CF-2018, de fecha veintiséis de julio de dos mil dieciocho, que suscriben, reunidos el día jueves dieciséis de agosto de dos mil dieciocho, a horas 12:00 m., en el aula del PROMAINA - FIM, para la sustentación de la Tesis titulada "EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GETÉCNICA CON FINES DE AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DESAQUE EN LA LOCALIDAD DE TUNAL-LALAQUIZ", conducida por la señorita Bachiller en Ingeniería Geológica AGURTO CORREA DIGNA ISABEL. Efectuadas las observaciones y dadas las respuestas, la declaran:

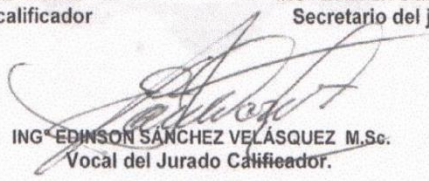
APROBADO

En consecuencia, queda en condición de ser calificada **APTA** y solicitar al Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, le otorgue el **TITULO PROFESIONAL DE INGENIERA GEÓLOGA**, de conformidad con lo estipulado en las normas legales vigentes de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 16 de agosto de 2018.


DR. ING° HIPÓLITO TUME CHAPA
Presidente del jurado calificador


ING° WALTER UMERES RIVEROS M. Sc.
Secretario del jurado calificador


ING° EDINSON SÁNCHEZ VELÁSQUEZ M.Sc.
Vocal del Jurado Calificador.

YMN.



AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme llegar hasta esta etapa de mi vida y haberme dado fortaleza para seguir adelante.

Gracias a mis padres por todo el apoyo que me dieron en darme una buena educación.

Gracias a todos los docentes que me enseñaron durante mi carrera profesional, sin esos conocimientos impuestos por ellos no habría llegado hasta aquí.

Gracias a la Universidad Nacional de Piura por darme la oportunidad de estudiar y brindarme los conocimientos adquiridos para llegar hacer un profesional.

Gracias a mi asesor Dr. Juan Francisco Moreano Segovia por el apoyo que me brindo en la realización de la tesis.

EVALUACION GEOLOGICA - GEOTECNICA CON FINES DE AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DESAGUE EN LA LOCALIDAD DE TUNAL - LALAQUIZ

ÍNDICE

RESUMEN

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES:

1.1.- Introducción.

1.2.- Ubicación y acceso.

1.3.- Justificación.

1.4.- Hipótesis

1.5.- Objetivos

1.5.1.- Objetivos Generales

1.5.2.- Objetivos Específicos

1.6.- Metodología de Trabajo.

1.6.1.- Recopilación y Análisis de Información existente.

1.6.2.- Etapa de Campo.

1.6.3.- Ensayos de Laboratorio

1.6.4.- Elaboración del Informe Final.

CAPITULO II: ASPECTOS GEOLÓGICOS

2.1.- GEOMORFOLOGÍA.

2.2.- UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS.

2.2.1 PRE-CAMBRIANO

2.2.1.1.- Complejo de Olmos (Pe - co)

2.2.2.- ROCAS INTRUSIVAS

2.2.2.1.- Tonalita, Diorita, Pambarumbe (Kt - t, d, p)

2.2.3.- CUATERNARIO

2.2.3.1.- Depósitos Aluviales

2.2.3.2.- Depósitos Fluviales

2.3.- GEOLOGÍA DEL ÁREA DE INFLUENCIA

2.4.- GEODINAMICA INTERNA

2.4.1.- Sismicidad

2.5.- GEODINAMICA EXTERNA

2.5.1. Erosión

CAPITULO IV: GEOTECNIA:

4.1.- Estudio geotécnico.

4.1.1.- Reconocimiento Geotécnico

4.1.2.- Programa de Prospección Geotécnica

4.2.- Exploraciones de campo.

4.2.1.- Excavación de calicatas y muestreo de suelos.

4.2.2.- Descripción y elaboración de perfiles estratigráficos.

4.3.- Ensayos de laboratorio.

4.3.1.- Análisis granulométrico por tamizado.

4.3.2.- Límites de Atterberg

4.3.3.- Contenido de Humedad Natural.

4.3.4.- Hinchamiento Libre.

4.3.5.- Límite de Contracción.

4.3.6.- Análisis Químico por Agresividad.

4.4.- Parámetros de Resistencia

4.4.1.- Ángulo de Fricción Interna

4.5.- Clasificación de suelos

4.5.1.- Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS

4.6.- Diseño de Cimentaciones

4.6.1.- Capacidad Admisible.

4.6.2.- Capacidad Admisible.

CAPITULO V: CANTERAS.

5.1. Canteras

5.1.1. Ubicación y Acceso

5.1.2. Propiedades físico - mecánicas de los materiales

5.1.3. Tipos de Agregados y Usos

5.1.4.- Cálculo de Reservas

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFÍA.

ANEXOS.

Relación de Cuadros:

Cuadro N° 01.- Sismos Históricos ($MR > 7.2$) de la Región.

Cuadro N° 02.- Probabilidad de Ocurrencia y Período Medio de Retorno.

Cuadro N° 03.- Ubicación de Calicatas.

Relación de Mapas:

Mapa N° 01.- Mapa Político de la Provincia de Huancabamba.

Mapa N° 02.- Mapa de Zonificación Sísmica.

ANEXOS:

Mapa Geológico.

Mapa Geomorfológico.

Ensayos de Laboratorio

RESÚMEN

El presente estudio, se realizó en el centro poblado Tunal - Lalaquiz de la provincia de Huancabamba, donde se tiene proyectado la Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable y Construcción del Sistema de Desagüe, para lo cual se realizó el estudio geotécnico, que consistió en la inspección técnica del terreno, ensayos de campo y muestreo de suelos para los ensayos de laboratorio, con el fin de establecer las condiciones físicas mínimas del suelo para ser tomadas en cuenta en el diseño de las cimentaciones de las estructuras proyectadas.

En el Área de influencia y circundantes a las estructuras proyectadas, las rocas que predominan, abarcan desde el Pre Cambriano representado por el Complejo de Olmos hasta depósitos del Cuaternario representados por los depósitos Aluviales y Fluviales, además se observan rocas intrusivas conformando la Tonalita Diorita Pambarumbe, que en muchos sectores han sufrido procesos de intemperismo generando suelos granulares.

Con el fin de establecer las propiedades físico - mecánicas de los materiales componentes del suelo de fundación que servirá de apoyo a la subestructura (cimiento), se han excavado calicatas en puntos estratégicos con profundidades que alcanzan hasta los 2.30 m., y se han ejecutado ensayos de laboratorio, que permitieron determinar la capacidad de carga admisible de los suelos de fundación al nivel de desplante más idóneo y que garantice la estabilidad y permanencia de las estructuras proyectadas, calculando la capacidad portante de acuerdo a los parámetros geológicos y geotécnicos que se ha obtenido en el laboratorio de mecánica de suelos tales como: la cohesión, el ángulo de fricción y el peso específico (corte directo).

Cabe precisar que el análisis geológico y geotécnico, juega un papel muy importante para la ejecución de las estructuras proyectadas, lo que conllevará a la seguridad de las mismas y no falle la construcción y su posterior colapso.

De la misma forma se ubicó e identificó depósitos de materiales (canteras), a emplear en las diversas actividades a desarrollar durante la ejecución de las estructuras proyectadas.

Los materiales que se evaluaron son favorables según su clasificación y resultados de laboratorio, la cantera clasificada se ubica en el sector de La Quemazón, a una distancia aproximada de 25 km., del centro de gravedad de las estructuras.

Palabras clave: Geotecnia, Cimentación, Geomorfología.

SUMMARY

The present study was carried out in the Tunal - Lalaquiz town center of the province of Huancabamba, where the Expansion and Improvement of the Drinking Water System and Construction of the Drainage System is planned, for which the geotechnical study was carried out, which consisted of in the technical inspection of the land, field tests and soil sampling for laboratory tests, in order to establish the minimum physical conditions of the soil to be taken into account in the design of the foundations of the projected structures. In the area of influence and surrounding the projected structures, the rocks that predominate, ranging from the Pre Cambriano represented by the Olmos Complex to the Quaternary deposits represented by the Alluvial and Fluvial deposits, in addition intrusive rocks are observed forming the Tonalita Diorita Pambarumbe , which in many sectors have undergone weathering processes generating granular soils. In order to establish the physical-mechanical properties of the component materials of the foundation soil that will support the substructure (foundation), pits have been excavated at strategic points with depths that reach up to 2.30 m., And have been executed laboratory tests, which allowed to determine the admissible load capacity of the foundation soils at the most suitable level of rigidity and to guarantee the stability and permanence of the projected structures, calculating the bearing capacity according to the geological and geotechnical parameters that have been obtained in the laboratory of soil mechanics such as: cohesion, angle of friction and specific weight (direct cutting). It should be noted that the geological and geotechnical analysis plays a very important role for the execution of the projected structures, which will lead to the safety of them and not fail the construction and its subsequent collapse. In the same way, deposits of materials (quarries) were located and identified, to be used in the various activities to be carried out during the execution of the projected structures. The materials that were evaluated are favorable according to their classification and laboratory results, the classified quarry is located in the sector of La Quemazón, at a distance of approximately 25 km., From the center of gravity of the structures.

Keywords: Geotechnics, Foundations, Geomorphology.

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES:

1.1.- Introducción.

El desarrollo de las ciudades y el incremento de la población hacen que existan muchas necesidades y ante la insatisfacción de las mismas, se genera gran malestar en la población.

Entre estas necesidades, se halla el desabastecimiento de agua potable y la falta del sistema de alcantarillado, que es causante de enfermedades gastrointestinales, que son ocasionadas por agentes patógenos, el cual ha sido un problema sobre todo en zonas marginales y de extrema pobreza como es el caso del centro poblado de Tunal - Lalaquiz, y todo ello conlleva al retraso socioeconómico.

En general toda localidad que crece y se desarrolla, de igual manera crecen sus necesidades socio económicas y los servicios básicos de saneamiento, es decir las necesidades que en el inicio de la población eran secundarias cuando estas alcanzan su desarrollo se convierten en primarias e indispensables y algunas son inherentes a las personas convirtiéndose de esta manera en derechos tales como: Educación, salud, vivienda etc.

Una de esas necesidades es básica para el centro poblado de Tunal - Lalaquiz, de contar con los servicios básicos de Agua Potable y alcantarillado, tomando en cuenta que al satisfacer dichas necesidades, contribuirá a mejorar notablemente la calidad de vida de la población.

Los estudios geotécnicos, son el conjunto de actividades que nos van a permitir obtener la información geológica y geotécnica del terreno en estudio, con el objeto de determinar la naturaleza y propiedades del terreno, necesarios para definir el tipo y condiciones de cimentación.

Para la realización del presente estudio, se han realizado investigaciones de campo para obtener información base, realizando excavaciones de calicatas, descripción de las condiciones geotécnicas, para posteriormente analizar, evaluar y diagnosticar.

El presente estudio “Evaluación Geológica - Geotécnica con fines de Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable y Construcción del Sistema de Desagüe en la localidad de Tunal - Lalaquiz”, nos brindará información geológica y geotécnica de la zona de estudio necesaria para plantear las alternativas adecuadas de cimentación del

terreno de fundación, con el fin de lograr condiciones de estabilidad de las estructuras proyectadas que conforman el presente proyecto.

1.2.- Ubicación y acceso.

Políticamente, la localidad de Tunal, se ubican en el distrito de Lalaquiz, Provincia de Huancabamba, a una distancia aproximada de 150 km. desde la ciudad de Piura. Geográficamente está ubicado en la Cuenca del río Piura, sub-cuenca del río Bigote y micro-cuenca de Sapse y San Lorenzo.

El acceso a la zona de estudio se realiza desde Piura, es a través de la carretera asfaltada Piura - Buenos Aires en 1.30 horas de recorrido, desde Buenos Aires por carretera afirmada hasta el cruce con Salitral, en 1 hora de recorrido luego por trocha carrozable sin afirmar hasta la localidad de Tunal en 02 horas de recorrido, pasando por los caseríos de La Quemazón, Los Ranchos, etc.



Mapa N° 01.- Mapa Político de la Provincia de Huancabamba

1.2.1.- Condiciones Climáticas.

El clima del distrito está directamente diferenciado de acuerdo a la altitud:

- En la zona baja - 500 m.s.n.m.: Posee un Clima Semi árido, con temperatura media anual máxima 24.5°C y Temperatura media anual mínima 18.8°C.
- En la zona intermedia - 1000 m. s. n. m: Tiene un Clima Sub húmedo a Semi árido con temperatura media anual máxima 25.1°C y Temperatura media anual mínima 17.4°C.
- En la zona a partir de los 1000 m. s. n. m: Posee un Clima Húmedo a Semi árido con temperatura media anual máxima 17.9°C y Temperatura media anual mínima 12.6°C.
- En la zona alta - 3000 m. s. n. m: Posee un Clima Per Húmedo a Semi árido con temperatura media anual máxima 10.9°C y Temperatura media anual mínima 6.5°C.

El periodo lluvioso se presenta normalmente desde diciembre hasta Abril, presentándose éstas con mayor intensidad en los meses de enero a marzo. Durante estos meses de lluvia, se nota la presencia de espesa niebla, truenos, relámpagos y la temperatura disminuye, especialmente en las partes altas.

1.3.- Justificación.

El agua es un elemento vital para impulsar el desarrollo de las poblaciones y mejorar sus condiciones de vida. En especial, en las áreas rurales la cobertura de agua y saneamiento en este segmento de la población es, en general, inferior a los niveles de cobertura de los centros urbanos medianos o grandes.

Más de la mitad de los habitantes del planeta, tienen problemas de abastecimiento de agua por una baja disponibilidad; es decir, existen comunidades que antes de evaluar posibles inversiones, tienen que preocuparse por contar con el recurso.

Es evidente que la falta de servicios en el centro poblado de Tunal - Lalaquiz, llegan a presentar una serie de enfermedades entre la población en su mayoría infantil, por lo que es importante que se lleven a cabo el mencionado proyecto.

Los estudios geológicos y geotécnicos son de suma importancia para el diseño de la infraestructura, estos nos brindan las condiciones y restricciones que puede tener el terreno en estudio y permiten adoptar los parámetros adecuados para el diseño correcto de la cimentación de las estructuras. La falta de agua potable y alcantarillado en el

centro poblado de Tunal, es debido a la falta de infraestructura, la misma que debe ser gestionada con mayor eficacia para satisfacer demandas crecientes y de ésta forma cerrar brechas de cobertura y calidad de los servicios, que generaría un impacto en el bienestar y mejora en la calidad de vida en los hogares rurales.

En tal sentido, el objetivo del presente proyecto de tesis, es analizar e investigar los aspectos geológicos y geotécnicos del centro poblado de Tunal, donde se va a desarrollar la infraestructura proyectada, con el propósito de brindar las pautas y criterios técnicos apropiados para diseñar eficientemente las estructuras de cimentación de la infraestructura proyectada, dotándolas de estabilidad estructural para lograr su mejor desempeño posible en términos de eficiencia técnico - económica en beneficio de los pobladores beneficiarios del mencionado proyecto.

Por otro lado, el estudio geológico - geotécnico nos proporciona la información sobre la existencia de materiales que podemos utilizar para el mejoramiento del terreno de fundación, distribución y accesibilidad, propiedades de los suelos y características adecuadas de los materiales seleccionados para el mejoramiento de la cimentación.

El reconocimiento del terreno y la interpretación de los datos obtenidos, permiten caracterizar los diversos suelos presentes en la zona en estudio, en la cual se deben de considerarse: el tipo suelo de explanación: clasificación del suelo, excavación de calicatas, materiales de préstamo: (origen y calidad), nivel freático, agresividad de suelos y agua y solución a problemas locales del terreno.

La ciudad de Tunal - Lalaquiz, actualmente no cuenta con la capacidad suficiente para abastecer de agua potable y alcantarillado, debido al crecimiento de la población.

El agua es cada vez más escasa debido a diversos factores tales como las sequías o la contaminación; factores que no sólo afectan la cantidad sino que también contribuyen a empeorar la calidad. Estos acontecimientos, unidos a otros aspectos, hacen imprescindible el tratamiento de las aguas para ser utilizadas, tanto para su uso industrial como para el uso potable.

El proyecto en ejecución, tiene como objetivo central rehabilitar y ampliar los sistemas de agua potable y alcantarillado para lograr una adecuada prestación de los servicios de agua potable y alcantarillado en el centro poblado de Tunal - Lalaquiz. Actualmente y ante el crecimiento de la población, se hace necesaria la ampliación de los sistemas de agua potable y alcantarillado.

El proyecto contempla la ejecución de obras generales para la instalación de redes de agua potable y alcantarillado, como son reservorios apoyados, líneas de impulsión, adicción, colectores principales de alcantarillado, redes secundarias de agua y desagüe, etc.

El estudio “Evaluación Geológica - Geotécnica con fines de Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable y Construcción del Sistema de Desagüe en la localidad de Tunal - Lalaquiz” se realiza con la finalidad de conocer las propiedades físicas y mecánicas de los terrenos de fundación, información que nos permitirá plantear las soluciones para la cimentación de las diferentes estructuras lineales y no lineales proyectadas.

1.4.- Hipótesis

1.4.1.- Hipótesis General.

Es probable desarrollar la evaluación de las características geológicas - geotécnicas que tiene el terreno y canteras del proyecto de ampliación del sistema de agua potable y alcantarillado del Centro Poblado de Tunal - Lalaquiz?

1.4.2.- Hipótesis Específicas.

- a. Es posible identificar las condiciones geológicas que presentan la zona de estudio del Centro Poblado de Tunal - Lalaquiz.
- b. Es probable determinar las características geotécnicas que tienen los materiales presentes en la zona del proyecto de Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable y Construcción del Sistema de Desagüe en la localidad de Tunal - Lalaquiz.
- c. Al determinar las propiedades físico - mecánicas que tiene los materiales de cantera será posible realizar de manera óptima el proyecto de Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable y Construcción del Sistema de Desagüe en la localidad de Tunal - Lalaquiz.
- d. Es posible efectuar actividades de gestión de mantenimiento para el correcto funcionamiento del Sistema de Agua Potable y Sistema de Desagüe en la localidad de Tunal - Lalaquiz.

1.5.- Objetivos

1.5.1.- Objetivo General

El presente trabajo tiene por objetivo, realizar la verificación de las condiciones geológicas y geotécnicas del suelo de fundación, para las estructuras proyectadas que conforman el anteproyecto de ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el proyecto del distrito centro poblado de Tunal - Lalaquiz.

Para esta evaluación geotécnica se desarrollará el estudio de suelos con fines de cimentación de las estructuras, para lo cual se realizaran la excavación de calicatas, distribuidos en las diferentes estructuras proyectadas lineales y no lineales que conforman el presente proyecto, a fin de obtener las principales características físicas y propiedades índice del suelo, sus propiedades de agresividad química y realizar las labores de gabinete en base a los cuales se define los perfiles estratigráficos y las recomendaciones generales para la cimentación de las estructuras proyectadas.

1.5.2.- Objetivos Específicos

- Identificar las condiciones geológicas que presentan la zona de estudio del centro poblado Tunal - Lalaquiz.
- Determinar las características geotécnicas que tienen los materiales presentes en el centro poblado Tunal - Lalaquiz.
- Determinar las propiedades físico - mecánicas que tiene los materiales de cantera para realizar de manera óptima la construcción del proyecto de agua y alcantarillado.
- Cumplir con el Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Piura para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

1.6.- Metodología de Trabajo.

La metodología a utilizar será aplicando el método científico; fundamentado en las observaciones directas de campo y utilización de equipo de campo y laboratorio.

El ámbito geográfico del estudio, corresponde a la zona comprendida entre el Centro Poblado de Tunal - Lalaquiz.

1.6.1.- Recopilación y Análisis de Información existente.

- Recopilación y Análisis de la información recopilada.
- Planificación del trabajo de campo.
- Elaboración de mapas, secciones, perfiles estratigráficos.
- Elaboración del informe final y redacción de la tesis.
- Utilización de software (AutoCad).

1.6.2.- Etapa de Campo.

- Reconocimiento preliminar del área de estudio.
- Ubicación de Calicatas.
- Excavación de calicatas
- Descripción de perfiles estratigráficos
- Toma de muestras alteradas e inalteradas.

1.6.3.- Ensayos de Laboratorio

Con las muestras alteradas obtenidas en la inspección de campo y la densidad de campo, se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

- Ensayos Estándar: se realizaron los ensayos estándar de clasificación de suelos y propiedades físicas que consisten en: análisis granulométrico por tamizado, límites de Atterberg (líquido y plástico) y contenido de humedad. Los ensayos se ejecutaron siguiendo las normas de la American Society For Testing and Materiales (ASTM), las normas para estos ensayos son las siguientes:
 - Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422.
 - Límites de Atterberg ASTM D-4318.
 - Contenido de humedad ASTM D-2216.
 - Clasificación SUCS ASTM D-2487.

1.6.4.- Elaboración del Informe Final.

Toda la información obtenida de campo y laboratorio serán plasmados en la elaboración del informe final.

En esta etapa se desarrollan los siguientes procesos:

- Descripción general del proyecto: Consiste en la descripción de los diferentes componentes del Proyecto, así como de sus características más importantes desde el punto de vista geotécnico. También se incluyen

objetivos y alcances del proyecto, información geográfica y metodologías de trabajo.

- Descripción de geología y sismicidad: Consiste en la descripción de la geología y la sismicidad de la zona.
- Fundamentación geotécnica: Consiste en determinar un programa de investigaciones geotécnicas. Además se visualizarán los resultados obtenidos en los ensayos.
- Análisis y diseño de cimentaciones: Mediante este proceso se busca establecer la zonificación del terreno de fundación de las cimentaciones, y comprende los siguientes pasos lógicos:
 - Metodología de cálculo.
 - Condiciones de análisis
 - Definición de los tipos de terreno.
 - Determinación de la capacidad portante.

CAPITULO II: ASPECTOS GEOLÓGICOS

2.1.- GEOMORFOLOGÍA.

El área de estudio presenta rasgos morfológicos que son el resultado de una larga evolución producida por factores como el tectonismo, plutonismo y la posterior erosión cuaternaria, los cuales modelaron el paisaje, hasta llegar a las formas actuales, algunas de las cuales se describen a continuación:

2.1.1.- Valles Fluviales.

La formación de los valles fluviales ha estado favorecido por el levantamiento progresivo de los Andes, que permitió la formación de un relieve longitudinal, sobre el cual se levantaron los cursos fluviales en forma sucesiva, drenando sus aguas al pacífico y a la cuenca del Marañón como son los ríos Piura y Huancabamba.

La ciudad de Tunal, se encuentra dentro de la sub cuenca del río Bigote. El curso principal nace de la confluencia de las quebradas Pache y Payaca, aguas abajo los aportes de las quebradas Singucate por la margen izquierda y San Lorenzo por la margen derecha. Las aguas de ésta sub cuenca, aguas abajo, desembocan al río Salitral, en su ámbito se encuentran las quebradas secas Jaguay, Mangamanga y Tabernas, las cuales desembocan directamente al río Piura, formando conos aluviales agrícolas que son regados con aguas del río Bigote.

2.1.2.- Superficie Puna.

Son geoformas elevadas que se manifiestan en el área como restos de una antigua superficie de peneplanización, donde los procesos erosivos han borrado muchas de las mismas.

Estas unidades se caracterizan por tener formas planas a manera de mesas subhorizontales con vertientes abruptas, se distribuyen en diferentes partes del área, sobresaliendo las ubicadas al noreste de Chulucanas y al noroeste de Huancabamba.

2.1.3.- Cordillera Occidental.

Comprende un vasto territorio elevado que sobrepasa los 3700 m.s.n.m. y se encuentra intensamente modificado por la erosión Plio Pleistocénica.

Geológicamente, la cordillera Occidental conforma un edificio tectogénico que corresponde a la mayor deformación de Los Andes producida durante el Eoceno terminal; actualmente existen algunos sectores con rasgos evidentes de la intensa erosión glacial que han formado morrenas y lagunas glaciares.

2.2.- UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS.

La zona de estudio se encuentra comprendida dentro del cuadrángulo 11-d Morropón del Boletín N° 39 Serie A de la Carta Geológica Nacional del INGEMMET.

2.2.1.- PRE-CAMBRIANO

2.2.1.1.- Complejo de Olmos (Pe - co)

Es una secuencia de esquistos, de naturaleza pelítica desarrollados en el nivel estructural inferior.

El grado de alteración de estas rocas está en función del clima, así en la vertiente del Pacífico, de clima relativamente seco, el intemperismo se limita a una leve coloración gris-marrón, lo que no sucede en la vertiente del Atlántico, donde el clima es más húmedo y la alteración de los minerales máficos les proporciona un color rojizo intenso.

2.2.2.- ROCAS INTRUSIVAS

2.2.2.1.- Tonalita, Diorita, Pambarumbe (Kt - t, d, p)

Plutón más importante y de mayor distribución geográfica de la región. La litología dominante es una tonalita gris clara, de textura granular, macroscópicamente se caracteriza por sus moteados oscuros debido a la concentración de cristales de biotita.

2.2.3.- CUATERNARIO

2.2.3.1.- Depósitos Aluviales

Se les localiza al pie de las estribaciones de la Cordillera Occidental, en los flancos de los cursos fluviales del río Piura y sus tributarios y en las llanuras aluviales del área occidental de la cuenca. Están constituidos por materiales conglomerádicos y fanglomerados polimícticos poco consolidados con una matriz areniscosa a limo-arcillosa, cuya composición varía de acuerdo al terreno de donde provienen.

2.2.3.2.- Depósitos Fluviales

Se hallan acumulados en el fondo de los grandes cursos fluviales, y están constituidos por conglomerados no consolidados, arenas sueltas y materiales limoarcillosos. Tienen su mayor amplitud en las zonas de valle y llanura. Los depósitos más importantes se hallan en el río Piura.

2.3.- CLASIFICACION ESTRUCTURAL DEL MACIZO ROCOSO.

Según las tablas de clasificación estructural e ingenieril de rocas de la Sociedad Geológica Americana adjuntas en los anexos se ha evaluado el Grado de Meteorización y Resistencia de los macizos rocosos.

Se considera que un suelo o roca es **blando o duro**, según su resistencia a la compresión esté en los siguientes rangos:

Suelo blando menos de	4 Kg/cm ²
Suelo duro entre	4 - 110 Kg/cm ²
Roca blanda de	375 a 700 Kg/cm ²
Roca dura más de	700 Kg/cm ²

*** El concreto corriente es de sólo 210 Kg/cm².**

Tabla N° 01.- Grados de Meteorización

<u>TERMINO</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>GRADO</u>
SANA	SIN SIGNOS VISIBLES DE METEORIZACION DE LA ROCA	IA
MUY POCO METEORIZADO	DECOLORACION DE LOS PRINCIPALES PLANOS DE DISCONTINUIDAD	IB
LIGERAMENTE METEORIZADO	LA DECOLORACION INDICA LA METEORIZACION DE LA ROCA Y DE LAS SUPERFICIES DE LAS DISCONTINUIDADES. TODA LA ROCA PUEDE ESTAR DESCOLORIDA POR LA METEORIZACIÓN Y PUEDE SER ALGO MAS DEBIL QUE LA ROCA SANA	II
MODERADAMENTE METEORIZADO	MENOS DE LA MITAD DE LA ROCA ESTA DESCOMPUESTA Y/O DESINTEGRADA HASTA CONVERTIRSE EN SUELO. LA ROCA SANA O DESCOLORIDA APARECE COMO UNA ESTRUCTURA CONTINUA O COMO NUCLEOS AISLADOS	III
MUY METEORIZADO	MAS DE LA MITAD DE LA ROCA ESTA DESCOMPUESTA Y/O DESINTEGRADA HASTA FORMAR UN SUELO. LA ROCA SANA O DESCOLORIDA APARECE COMO UNA ESTRUCTURA CONTINUA O COMO NUCLEOS AISLADOS	IV
COMPLETAMENTE METEORIZADO	TODA LA ROCA ESTA DESCOMPUESTA Y/O DESINTEGRADA HASTA CONVERTIRSE EN SUELO. LA ESTRUCTURA ORIGINAL DE LA MASA TODAVÍA SE CONSERVA INTACTA	V
SUELO RESIDUAL	TODA LA ROCA CONVERTIDA EN SUELO. LA ESTRUCTURA Y FABRICA DEL MATERIAL HA SIDO DESTRUIDA. HAY UN GRAN CAMBIO DE VOLUMEN, PERO EL SUELO NO HA SUFRIDO UN TRNASPORTE SIGNIFICATIVO	VI

TABLA APLICABLE A ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS

En diferentes sectores de la zona de estudio se han identificado sectores donde las rocas metamórficas se encuentran clasificadas entre Moderadamente Meteorizado, Muy Meteorizado, Completamente Meteorizada y Suelo Residual.

2.4.- DESCRIPCION DE LOS MATERIALES POR EXCAVABILIDAD.

Aspectos generales. Para los efectos de determinar el costo de ejecutar una excavación se establece otra clasificación, basada en la mayor o menor dureza del terreno, y que debe ser usada para la cubicación de los movimientos de tierra, pues de esta

clasificación dependerán los medios necesarios para realizar la excavación las que varían con la naturaleza del terreno, que desde este punto de vista, se pueden clasificar en:

- a. **Excavación en terreno blando.** Puede ser ejecutada valiéndose exclusivamente de la pala. El material del suelo puede ser de tipo arenoso, arcilloso o limoso, o una mezcla de estos materiales; también puede contener materiales de origen orgánico. **MATERIAL SUELTO.**
- b. **Excavación en terreno semiduro.** Puede ser ejecutada valiéndose exclusivamente de picota. El material puede ser en tal caso una mezcla de grava, arena y arcilla, moderadamente consolidada, o bien una arcilla fuertemente consolidada. **MATERIAL SUELTO.**
- c. **Excavación en terreno duro.** Puede ser ejecutada valiéndose exclusivamente de Barreta. El material puede ser una mezcla de grava, arena y arcilla, fuertemente consolidada. **ROCA FRACTURADA O ROCA SUELTA.**
- d. **Excavación en terreno muy duro.** Puede ser ejecutada valiéndose necesariamente del uso de maquinaria especializada. El tipo de material puede ser una roca semi-descompuesta. **ROCA FRACTURADA O ROCA SUELTA.**
- e. **Excavación en roca.** La que precisa para su ejecución del uso de explosivos. El material puede estar constituido por un manto de roca, o por piedras de gran tamaño, que no pueden ser removidas mediante el uso de maquinaria. **ROCA BASAMENTO INALTERADA O ROCA FIJA.**

La descripción de los materiales en el campo han sido identificadas a través de los cortes naturales así como el análisis de las muestras obtenidas en las calicatas y despejes, para ser considerados en los trabajos de excavación:

- **MATERIAL SUELTO**

Material eluvial y suelos compuestos por arcillas, con presencia de 10 a 20 % de fragmentos rocosos (esquistos) fuertemente meteorizados de origen metamórfico.

- **ROCA FRACTURADA O ROCA SUELTA**

Bloques angulosos a subangulosos alterados de hasta 3 m. de diámetro de rocas metamórficas muy meteorizadas, medianamente resistentes y moderadamente fracturadas, presentan mediana dificultad en el corte con tractor y Ripper. En

casos especiales cuando los bloques mayores están inalterados se requiere voladura con dinamita para la fragmentación.

- **ROCA BASAMENTO INALTERADA O ROCA FIJA**

Bloques de Rocas metamórficas, poco meteorizadas, de alta resistencia y ligeramente fracturados, siendo necesario el uso de voladura con explosivos.

2.5.- GEOLOGÍA DEL ÁREA DE INFLUENCIA

2.5.1.- SISTEMA DE AGUA POTABLE:

CAPTACIÓN Y LÍNEA DE CONDUCCIÓN:

El punto de captación está ubicado en la quebrada Chorrera (Quebrada Lanque), aproximadamente a una distancia de 11.0 km. hasta la localidad de Tunal. Las rocas predominantes corresponden a Esquistos de color gris oscuro, de gran compacidad, suprayaciendo y en los primeros tramos de la línea de conducción hasta el Desarenador (obra existente Progresiva 0+240), se observa la presencia de rocas metamórficas correspondientes a Esquistos entre Moderadamente Meteorizado (Grado III) a Muy Meteorizado (Grado IV) y en algunos sectores Suelo Residual que se encuentran a nivel de arcillas (Grado VI).

En todo el tramo de la **Línea de Conducción**, se han identificado sectores con diferentes niveles de Meteorización:

Progresiva 0+000 - 0+120	Roca Intacta Grado II - Roca Fija.
Progresiva 0+120 - 0+480	Suelo Residual (Arcillas) Grado VI - Material Suelto.
Progresiva 0+480 - 0+540	Roca Muy Meteorizada Grado IV - Roca Suelta.
Progresiva 0+540 - 0+740	Suelo Residual (Arcillas) Grado VI - Material Suelto.
Progresiva 0+740 - 0+900	Roca Muy Meteorizada a Completamente Meteorizada Grado IV y V - Roca Suelta.
Progresiva 0+900 - 1+040	Roca Intacta Grado II - Roca Fija.
Progresiva 1+040 - 1+120	Suelo Residual (Arcillas) Grado VI - Material Suelto.
Progresiva 1+120 - 1+180	Roca Completamente Meteorizada Grado V - Roca Suelta.
Progresiva 1+180 - 2+260	Suelo Residual (Arcillas) Grado VI - Material Suelto.
Progresiva 2+260 - 2+320	Roca Completamente Meteorizada Grado V - Roca Suelta.

Progresiva 2+320 - 2+400	Roca Completamente Meteorizada Grado V (Roca Suelta) y Suelo Residual (Arcillas) Grado VI - Material Suelto .
Progresiva 2+400 - 2+580	Roca Completamente Meteorizada Grado V - Roca Suelta .
Progresiva 2+580 - 3+460	Roca Completamente Meteorizada Grado V (Roca Suelta) y Suelo Residual (Arcillas) Grado VI - Material Suelto .
Progresiva 3+460 - 4+020	Roca Completamente Meteorizada Grado V - Roca Suelta .
Progresiva 4+020 - 4+120	Roca Completamente Meteorizada Grado V (Roca Suelta) y Suelo Residual (Arcillas) Grado VI - Material Suelto .
Progresiva 4+120 - 4+740	Suelo Residual (Arcillas) Grado VI - Material Suelto .
Progresiva 4+740 - 4+760	Roca Intacta Grado II - Roca Fija .
Progresiva 4+760 - 5+160	Suelo Residual (Arcillas) Grado VI - Material Suelto .
Progresiva 5+160 - 5+420	Roca Muy Meteorizada Grado IV (Roca Suelta) y Suelo Residual (Arcillas) Grado VI - Material Suelto .
Progresiva 5+420 - 5+700	Suelo Residual (Arcillas) Grado VI - Material Suelto .
Progresiva 5+700 - 5+760	Roca Intacta Grado II - Roca Fija .
Progresiva 5+760 - 5+900	Roca Completamente Meteorizada Grado V (Roca Suelta) y Suelo Residual (Arcilla) Grado VI - Material Suelto .
Progresiva 5+900 - 6+200	Suelo Residual (Arcillas) Grado VI - Material Suelto .
Progresiva 6+200 - 6+480	Roca Completamente Meteorizada Grado V (Roca Suelta) y Suelo Residual (Arcilla) Grado VI - Material Suelto .
Progresiva 6+480 - 6+520	Roca Completamente Meteorizada Grado V - Roca Suelta .
Progresiva 6+520 - 6+700	Roca Muy Meteorizada a Completamente Meteorizada Grado IV y V - Roca Suelta .
Progresiva 6+700 - 7+400	Suelo Residual (Arcilla) Grado VI - Material Suelto .
Progresiva 7+400 - 7+520	Roca Completamente Meteorizada Grado V (Roca Suelta) y Suelo Residual (Arcilla) Grado VI - Material Suelto .
Progresiva 7+520 - 7+740	Suelo Residual (Arcilla) Grado VI - Material Suelto .
Progresiva 7+740 - 8+000	Roca Completamente Meteorizada Grado V (Roca Suelta) y Suelo Residual (Arcilla) Grado VI - Material Suelto .

Progresiva 8+000 - 8+940 Suelo Residual (Arcilla) Grado VI - **Material Suelto.**

Progresiva 8+940 - 9+040 Roca Muy Meteorizada a Completamente Meteorizada Grado IV y V - **Roca Suelta.**

Progresiva 9+040 - 9+180 Suelo Residual (Arcilla) Grado VI - **Material Suelto.**

Progresiva 9+180 - 9+780 Roca Completamente Meteorizada Grado V (**Roca Suelta**) y Suelo Residual Grado VI - **Material Suelto.**

Progresiva 9+780 - 11+230 Suelo Residual (Arcilla) Grado VI - **Material Suelto.**

RESERVORIO APOYADO:

El Reservoirio Apoyado se proyectará sobre Suelos Residuales (Arcillas) Grado VI - **Material Suelto.**

CÁMARAS ROMPE PRESIÓN y FILTRO LENTO:

En este sector se observa las rocas metamórficas con los siguientes niveles de meteorización:

Suelo Residual (Arcilla) Grado VI - **Material Suelto.**

LÍNEA DE ADUCCIÓN:

La distancia del Reservoirio Apoyado al Centro Poblado: 750 m. aproximadamente.

Progresiva 0+000 - 0+500 Suelo Residual (Arcilla) Grado VI - **Material Suelto.**

Progresiva 0+500 - 0+750 Suelo Residual (Arcilla) Grado VI - **Material Suelto.**

Entre las progresivas 0+500 y 0+650: camino de herradura Tunal - La Laguna.

0+650 - 0+750: Terrenos de Cultivo - **Material Suelto.**

LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN:

Las obras se desarrollarán sobre Roca Muy Meteorizada Grado IV, Roca Completamente Meteorizada Grado V (**Roca Suelta**), Suelos Residuales (Arcillas tipo CL) Grado VI - **Material Suelto.**

2.5.2.- SISTEMA DE DESAGUE.

REDES DE RECOLECCIÓN:

Las obras se desarrollarán sobre Roca Muy Meteorizada Grado IV, Roca Completamente Meteorizada Grado V, Suelos Residuales (Arcillas tipo CL) Grado VI.

- Calle Maray: entre Bz. 60, transversal 1 y transversal 7: en superficie Suelos Residuales Grado VI (**Material Suelto**) y en profundidad a partir de 0.90 m. Roca Muy Meteorizada Grado IV (**Roca Suelta**) (. (Bz. 60 - 75)
- Calle Huancabamba: En superficie Suelos Residuales Grado VI (**Material Suelto**) y en profundidad a partir de 0.80 m. Roca Muy Meteorizada (**Roca Suelta**) Grado IV. (Entre Bz. 57 - 59).
- Calle Sónдор: En superficie Suelos Residuales Grado VI (**Material Suelto**) y en profundidad material de bolonería (Entre Bz. 76 - 91).
Bz. 89 - 91: Material de bolonería en profundidad - **Material Suelto**.
Bz. 76 - 89: Arcillas (**Material Suelto**).
- Av. Piura: En superficie Suelos Residuales Grado VI (Arcillas - **Material Suelto**) y en profundidad a partir de 0.30 m. Roca Muy Meteorizada (**Roca Suelta**) Grado IV. (Entre Bz. 14 - 28).
Bz. 14, 15 y 92: Material de bolonería de rocas tipo esquistos - **Material Suelto**.
Bz. 16 a Bz. 28: En superficie Suelos Residuales Grado VI (Arcillas - **Material Suelto**) y en profundidad a partir de 0.20 m. Roca Moderadamente Meteorizada Grado III - **Roca Fija**.
Pasaje Av. Piura, Bz. 29 y 30: En superficie Suelos Residuales Grado VI (Arcillas - **Material Suelto**) y en profundidad a partir de 0.20 m. Roca Moderadamente Meteorizada Grado III - Roca Fija.
Bz. 32 a 35: Suelos Residuales Grado VI (Arcillas - **Material Suelto**).
Bz. 132 a 137: Suelos Residuales Grado VI (Arcillas - **Material Suelto**).
- Calle Transversal C: Roca Moderadamente Meteorizada Grado III - Roca Fija. (Entre Bz. 98 - 100).
- Calle Transversal 2: Material de Bolonería de rocas tipo esquistos - **Material Suelto**. (Entre Bz. 15 y 92).

- Calle Canchaque: Material de Bolonería de rocas tipo esquistos - **Material Suelto**. (Entre Bz. 101 - 104).
- Carretera a Yamango: Material de Bolonería de rocas tipo esquistos - **Material Suelto**. (Entre Bz. 01 y 13).
- En superficie Suelos Residuales Grado VI (Arcillas - **Material Suelto**) y en profundidad a partir de 0.20 m. Roca Moderadamente Meteorizada Grado III - Roca Fija.
- Calle Panela, Transversal A, B, 3, 3' y 4: Material de Arcilla con alternancias de material de Bolonería de rocas tipo esquistos - **Material Suelto**. (Entre Bz. 36 y 45).

COLECTORES PRINCIPALES:

1.- Hacia las Lagunas Antiguas:

Los colectores, desde el centro poblado a las lagunas, aproximadamente tienen una longitud de 900 m.

- 650 m. se emplazan sobre materiales tipo **Roca Suelta** y **Roca Fija**, desde el centro poblado a la quebrada existente.
- 250 m. aproximadamente, desde la quebrada existente a las lagunas, **Material Suelto** (Arcillas).

2.- Hacia las Lagunas Proyectadas:

Los colectores, desde el centro poblado a las lagunas, aproximadamente tienen una longitud de 350 m.

- Se emplazará sobre **Material Suelto** (Arcillas).

LAGUNAS DE OXIDACIÓN:

Antigua:

Se emplazará sobre suelos arcillosos - **Material Suelto**.

Proyectada:

Se emplazará sobre suelos arcillosos - **Material Suelto**.

Nota: Cabe mencionar, que durante los trabajos de campo, el periodo lluvioso estaba en su etapa final, por lo que los niveles de saturación de suelos y rocas eran altos, lo que

genera que la dureza de los suelos y rocas eran, relativamente medianos a bajos, éstos niveles irán en aumento al aumentar los niveles de evaporación que se incrementan en épocas de estiaje.

2.6.- GEODINAMICA INTERNA

2.6.1.- Sismicidad

El sector del Nor-Oeste de Perú se caracteriza por su actividad Neotectónica muy tenue, particularidad de la conformación geológica de la zona; sin embargo, los Tablazos marinos demuestran considerables movimientos radiales durante el Pleistoceno, donde cada tablazo está íntimamente relacionado a levantamientos de líneas litorales, proceso que aún continúa en la actualidad por emergencia de costas.

Debido a la confluencia de las placas tectónicas de Cocos y Nazca, ambas que ejercen un empuje hacia el Continente, a la presencia de las Dorsales de Grijalvo y Sarmiento, a la presencia de la Falla activa de Huaypirá se pueden producir sismos de gran magnitud como se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 01.- Sismos Históricos (MR.> 7.2) de la región

Fecha	Magnitud Escala Richter	Hora Local	Lugar y Consecuencias
Jul. 09 1587	- - -	19:30	Sechura destruida, número de muertos no determinado
Feb. 01 1645	- - -	- - -	Daños moderados en Piura
Ago. 20 1657	- - -	- - -	Fuertes daños en Tumbes y Corrales
Jul. 24 1912	7,6		Parte de Piura destruido
Dic. 17 1963	7,7	12:31	Fuertes daños en Tumbes y Corrales
Dic. 07 1964	7,2	04:36	Algunos daños importantes en Piura, daños en Talara y Tumbes

Las limitaciones impuestas por la escasez de información sísmica en un período estadísticamente representativo, restringe el uso del método probabilístico y la escasez de datos tectónicos restringe el uso del método determinístico, no obstante un cálculo basado en la aplicación de tales métodos, pero sin perder de vista las limitaciones citadas, aporta criterios suficientes para llegar a una evaluación previa del riesgo sísmico en el Norte del Perú.

Moreano S. (UNP, 1994) establece la siguiente ecuación mediante la aplicación del método de los mínimos cuadrados y la ley de recurrencia:

$$\text{Log } n = 2.08472 - 0.51704 \pm 0.15432 \text{ M.}$$

Una aproximación de la probabilidad de ocurrencia y el período medio de retorno para sismos de magnitudes de 7.0 y 7.5 Mb.

Cuadro N° 02.- Probabilidad de Ocurrencia

MAGNITUD	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA			PERÍODO MEDIO DE RETORNO
Mb	20 (años)	30 (años)	40 (años)	(años)
7.0	38.7	52.1	62.5	40.8
7.5	23.9	33.3	41.8	73.9

2.6.2.- Parámetros para Diseño Sismo - Resistente

Desde el punto de vista sísmico el territorio peruano, pertenece al Circulo Circumpacífico que comprende las zonas de mayor actividad sísmica en el mundo y por lo tanto se encuentra sometido con frecuencia a movimientos telúricos. Pero dentro del territorio nacional, existen varias zonas que se diferencian por su mayor y menor frecuencia de estos movimientos, así tenemos que las, Normas Sismo - resistentes del Reglamento Nacional de Edificaciones (2016), divide al país en cuatro zonas.

- ZONA 1: Comprende la región de la selva más alejada de la costa, como la Región de Loreto y parte del Departamento de Ucayali y Madre De Dios en esta zona la sismicidad es baja.
- ZONA 2: En esta zona la sismicidad es media. Comprende prácticamente el 70% de la selva, Loreto, Ucayali, Puno Madre de Dios, Amazonas, Huánuco, San Martín, Junín, Ayacucho, Apurímac, Pasco, Huancavelica y parte del Cuzco, En esta región los sismos se presentan con mucha frecuencia, pero no son percibidos por las personas en la mayoría de veces.
- ZONA 3: Es la zona de media a alta sismicidad comprende mayormente la parte occidental de la sierra del Perú, Puno, Amazonas, San Martín, Loreto, Huánuco, Junín, Huancavelica, Ayacucho, Piura, Ancash, Lima, Arequipa, Moquegua, Cajamarca, Tacna, La Libertad y Tacna.
- ZONA 4: Es la zona de alta sismicidad. comprende toda la costa peruana, Tacna, Moquegua, Arequipa, Ica, Lima, Ancash, La Libertad, Piura, Lambayeque, Tumbes, Ayacucho. Es la zona más afectada por los fenómenos telúricos.



Mapa N° 02.- Mapa de Zonificación Sísmica para el Territorio Peruano.

Fuente: D.S. N° 003-2016 que modifica la Norma Técnica E.030, aprobada por D.S. N° 011-2006-Vivienda, modificada con D.S. N° 002-2014-Vivienda, (2016)

El sector en estudio, se encuentra en la zona 3 de alta sismicidad. A partir de ello, en sus características estructurales no se identifican rasgos sobre fenómenos de tectonismo que hayan influido en la estructura geológica de la zona.

1. Sismos de Intensidad VII MM
2. Hipocentros de profundidad intermedia y de intensidad entre VIII y IX.
3. El mayor Peligro Sísmico de la Región está representado por 4 tipos de efectos, siguiendo el posible orden (Kusin,1978):
 - Temblores Superficiales debajo del océano Pacífico.
 - Terremotos profundos con hipocentro debajo del Continente.

- Terremotos superficiales locales relacionados con la fractura del plano oriental de la cordillera de los Andes occidentales.
- Terremotos superficiales locales, relacionados con las fallas de Huancabamba de actividad neotectónica o reciente.

2.5.- GEODINAMICA EXTERNA

Entre 1982-1983 y 1998-1999 y en otros años de períodos lluviosos, la cuenca del río Piura fue afectada por intensas precipitaciones pluviales generadas por el fenómeno “El Niño”, uno de los eventos climatológicos más intensos que han afectado al territorio peruano en el presente siglo, causando destrucción y muerte, afectando la economía del país, cuyo producto interno descendió hasta -13%. El departamento de Piura donde se ubica la cuenca, fue la más afectada por la presencia del fenómeno debido a su cercanía a la línea ecuatorial.

La presencia de fenómenos de geodinámica externa se acentúa en los meses de Enero a Abril, coincidiendo con las mayores precipitaciones pluviales, que se traducen en el aumento de las descargas del río Piura y sus principales tributarios; durante estos meses se produce gran arrastre de sedimentos de la parte alta a la baja tanto del valle principal como de sus tributarios, generando fenómenos de colmatación de sedimentos, erosión de riberas, socavamiento, desbordes e inundaciones que afectan a centros poblados, obras de infraestructura de riego (regulación y captación), vial, terrenos de cultivo, que se han emplazado sobre planicies ó terrazas antiguas de inundación del río, los que se incrementan en la parte baja del valle del río Piura debido a la topografía y variaciones de la altitud, estos fenómenos se incrementan con la presencia del FEN.

Fenómenos de inestabilidad de taludes, aunque de baja magnitud, se localizan en los tramos encañonados de los valles. Ocurren deslizamientos, derrumbes, flujos de lodo, etc. por acción natural o artificial, incentivados por las fuertes precipitaciones en las zonas altas, fenómeno que se presenta generalmente en las quebradas de fuerte pendiente y corto recorrido.

2.5.1. Erosión

Constituyen el principal fenómeno de Geodinámica Externa que afecta la zona de estudio en épocas de intensas precipitaciones pluviales, lo que origina en algunas calles la formación de cárcavas (formación de Zanjas) que afectan la estabilidad de las viviendas.

CAPITULO IV: GEOTECNIA:

4.1.- Estudio geotécnico.

4.1.1.- Reconocimiento Geotécnico

Los estudios geotécnicos se inician con un reconocimiento detallado del terreno, cuyo objetivo de este reconocimiento es contar con antecedentes geotécnicos previos para programar la exploración.

Mediante la observación de cortes naturales y/o artificiales producto de la erosión o deslizamiento será posible, en general, definir las principales unidades o estratos de suelos superficiales.

El programa de exploración que se elija debe tener suficiente flexibilidad para adaptarse a los imprevistos geotécnicos que se presenten. No existe un método de reconocimiento o exploración que sea de uso universal para todos los tipos de suelos existentes y para todas las estructuras u obras que se estudian.

4.1.2.- Programa de Prospección Geotécnica

Se debe realizar un programa de prospección geotécnica que sigue la siguiente secuencia:

- Exploración de suelos.
 - Mediante Calicatas: se realiza para el muestreo de suelos.
 - Las muestras serán tomadas desde la superficie hasta 3.00 m. de profundidad, habiendo quitado previamente la capa vegetal, si se presenta.
- Ensayos de laboratorio.

Para la caracterización Geotécnica de la zona de estudio, se debe contar con el apoyo de un plano clave y formatos, donde se consignará toda la información necesaria para cumplir con los objetivos del estudio.

4.2.- Exploraciones de campo.

Para la ejecución del presente trabajo se realizaron las siguientes actividades:

- Reconocimiento del terreno con fines de programar las excavaciones.
- Trabajos de excavación, descripción de calicatas y muestreo de suelos alterados e inalterados (monolitos).

- Ensayos de laboratorio y obtención de parámetros Físico- Mecánicos de los suelos.
- Análisis de las propiedades físico mecánicas de los terrenos de fundación y estabilidad de las excavaciones.

4.2.1.- Excavación de calicatas y muestreo de suelos.

Con el objeto de ubicar los puntos de excavación de las calicatas, se realizó un reconocimiento del terreno; determinándose la construcción de Veintiún (21) calicatas con una sección de 1.00 m. x 1.80 m. y profundidades hasta de 2.30 m., distribuidas en la zona del proyecto. En el sector de Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable y Construcción del Sistema de Desagüe, se han excavado 11 calicatas, en el sector del Reservorio Apoyado 01 calicata y en el sector de las Lagunas de Oxidación 02 calicatas, en la Línea de Conducción 04 calicatas y en el sector de Aducción 03 calicatas.

Cuadro N° 03.- Ubicación de calicatas

Calicata	Profundidad Total	Tipo de muestra	Ubicación	Nivel Freático
Muestra	m			
C-1	1.50	mab	Agua y Alcantarillado	NO
C-2	2.00	mab	Agua y Alcantarillado	NO
C-3	2.00	mab	Agua y Alcantarillado	NO
C-4	2.00	mab	Agua y Alcantarillado	NO
C-5	1.80	mab	Agua y Alcantarillado	NO
C-6	2.10	mab	Agua y Alcantarillado	NO
C-7	2.00	mab	Agua y Alcantarillado	NO
C-8	2.00	mab	Agua y Alcantarillado	NO
C-9	2.10	mab	Agua y Alcantarillado	NO
C-10	1.80	mab	Agua y Alcantarillado	NO
C-11	2.00	mab	Agua y Alcantarillado	NO
C-12	1.10	mab	Conducción 0+250	NO
C-13	1.00	mab	Conducción 1+300	NO
C-14	1.50	mab	Conducción 1+450	NO
C-15	1.50	mab	Conducción 1+900	NO
C-16	2.30	mab	Reservorio	NO
C-17	1.20	mab	Aducción 0+150	NO
C-18	1.20	mab	Aducción 0+650	NO
C-19	1.20	mab	Aducción 0+750	NO
C-20	2.00	mab	Laguna Antigua	NO
C-21	2.00	mab	Laguna Proyectada	NO

4.2.2.- Descripción y elaboración de perfiles estratigráficos.

Con la información obtenida mediante los análisis granulométricos y observando el perfil estratigráfico de las calicatas, se ha establecido la siguiente columna estratigráfica:

DESCRIPCIÓN DE CALICATAS.

CALICATA C-1 (Av. Piura).

0.00 m. - 1.50 m.

Arcillas Inorgánicas de color Beige (CL), de mediana plasticidad, moderado grado de hinchamiento y contracción, la humedad aumenta con la profundidad. Paredes de la calicata estables debido a la presencia de la humedad.



CALICATA C-2 (Calle Sapalache - Pasaje s/n - Plaza de Armas).

0.00 m. - 2.00 m.

Arcilla de color Pardo Amarillento (CL), mediana plasticidad, moderado grado de hinchamiento y contracción, medianamente húmeda, con grado de compacidad y resistencia que aumentan con la profundidad, paredes de la calicata estables.



CALICATA C-3 (Av. Piura - Pasaje s/n).

0.00 m. - 2.00 m.

Material de relleno compuesto por bloques angulosos de rocas metamórficas, restos de bolsas plásticas, en matriz arcillosa de color beige (CL). Se encuentra ubicado en el eje de una quebrada antigua, paredes de la calicata estables.



CALICATA C-4 (Intersección Calle Canchaque - Calle Piura).

0.00 m. - 0.60 m.

Arcilla de color marrón oscuro (CH).

0.60 m. - 2.00 m.

Arcillas de color beige (CL), mediana plasticidad, moderado grado de hinchamiento, moderado grado de contracción, medianamente húmeda, con grado de compacidad y resistencia que aumentan con la profundidad, paredes de la calicata estables.



CALICATA C-5 (Calle Canchaque).

0.00 m. - 0.60 m.

Arcilla de color marrón oscuro (CH).

0.60 m. - 1.80 m.

Arcillas de color beige (CL), con presencia de fragmentos medianos de esquistos fuertemente alterados, de mediana plasticidad, moderado grado de hinchamiento, moderado grado de contracción, medianamente húmeda, con grado de compacidad y resistencia que aumentan con la profundidad, paredes de la calicata estables.



CALICATA C-6 (Calle Canchaque).

0.00 m. - 1.00 m.

Arcilla de color marrón oscuro (CH).

1.00 m. - 2.10 m.

Arcillas de color Beige (CL), de mediana plasticidad, moderado grado de hinchamiento, moderado grado de contracción, medianamente húmeda, con grado de compacidad y resistencia que aumentan con la profundidad, paredes de la calicata estable.



CALICATA C-7 (Calle Canchaque - Parte posterior CES Augusto Salazar)

Bondy).

0.00 m. - 2.00 m.

Bloques angulosos de rocas tipo esquistos en una matriz de arcilla de color marrón (CL), mediana plasticidad, medianamente húmeda, con grado de compactación y resistencia que aumentan con la profundidad, paredes de la calicata estables.



CALICATA C-8 (Calle Sándor - Pasaje s/n).

0.00 m. - 1.00 m.

Material de relleno compuesto por restos en matriz arcillosa de color beige (CL).

1.00 m. - 2.00 m.

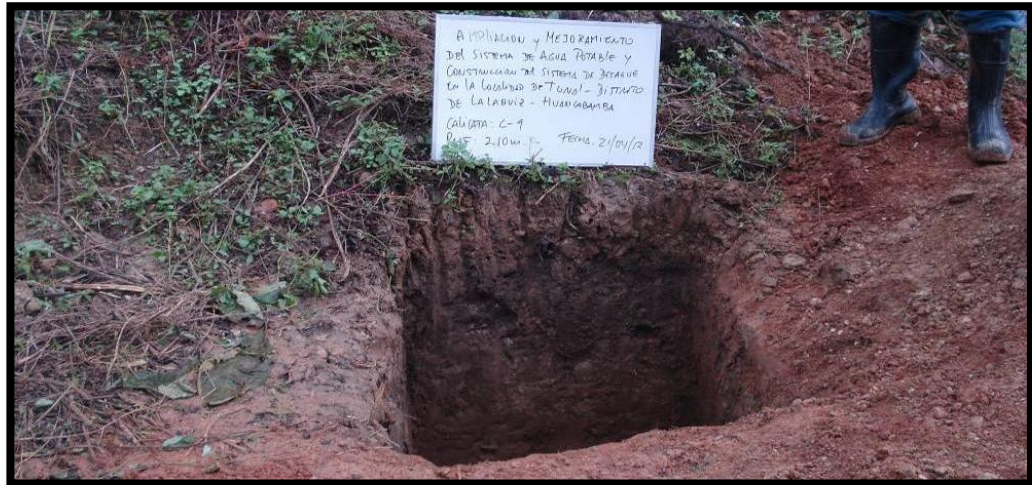
Arcilla de color Beige (CL), mediana plasticidad, moderado grado de hinchamiento, moderado grado de contracción, medianamente húmeda, con grado de compactación y resistencia que aumentan con la profundidad, paredes de la calicata estables.



CALICATA C-9 (Calle Sándor - Pasaje s/n).

0.00 m. - 2.10 m.

Arcilla de color Pardo rojizo (CL), mediana plasticidad, moderado grado de hinchamiento, moderado grado de contracción, medianamente húmeda, con grado de compacidad y resistencia que aumentan con la profundidad, paredes de la calicata estables.



CALICATA C-10 (Calle Maray - Calle s/n).

0.00 m. - 0.80 m.

Arcilla de color marrón oscuro (CH).

0.80 m. - 1.80 m.

Arcillas de color Beige (CL) con inclusiones de algunos fragmentos de esquistos fuertemente alterados, mediana plasticidad, moderado grado de hinchamiento, moderado grado de contracción, medianamente húmeda, con grado de compacidad y resistencia que aumentan con la profundidad, paredes de la calicata estables.



CALICATA C-11 (Calle Maray - Calle s/n).

0.00 m. - 2.00 m.

Material de bolonería de rocas tipo esquistos en matriz Arcillosa de color pardo rojizo (CL), mediana plasticidad, moderado grado de hinchamiento, moderado grado de contracción, medianamente húmeda, con grado de compacidad y resistencia que aumentan con la profundidad, paredes de la calicata estables.



CALICATA C-12 (Línea de Conducción Progresiva 0+250).

0.00 m. - 1.10 m.

Rocas tipo esquistos fuertemente alterados, de color gris claro a marrón claro, trabajable en forma manual con barretas.



CALICATA C-13 (Línea de Conducción Progresiva 1+300).

0.00 m. - 0.80 m.

Arcilla de color marrón oscuro (CH).

0.80 m. - 1.50 m.

Arcilla de color Beige (CL) con inclusiones de algunos fragmentos de esquistos fuertemente alterados y deleznales, mediana plasticidad, moderado grado de hinchamiento, moderado grado de contracción, medianamente húmeda, paredes de la calicata estables.



CALICATA C-14 (Línea de Conducción Progresiva 1+450).

0.00 m. - 1.00 m.

Arcilla de color pardo rojizo (CL), con inclusiones de algunos fragmentos de esquistos fuertemente alterados, paredes de la calicata estables.



CALICATA C-15 (Línea de Conducción Progresiva 1+900).

0.00 m. - 1.50 m.

Arcilla de color pardo rojizo (CL), con inclusiones de algunos fragmentos de esquistos fuertemente alterados, paredes de la calicata estables.



CALICATA C-16 (Reservorio Apoyado).

0.00 m. - 1.50 m.

Arcilla de color marrón oscuro (CH).

1.50 m. - 2.30 m.

Arcilla de color Beige (CL) de mediana plasticidad, moderado grado de hinchamiento y contracción, medianamente húmeda, con grado de compacidad y resistencia que aumentan con la profundidad, paredes de la calicata estables.



CALICATA C-17 (Línea de Aducción Progresiva 0+150).

0.00 m. - 1.20 m.

Arcilla de color marrón oscuro (CL), mediana plasticidad, moderado grado de hinchamiento y contracción, medianamente húmeda, con grado de compacidad y resistencia que aumentan con la profundidad, paredes de la calicata estables.



CALICATA C-18 (Línea de Aducción Progresiva 0+650).

0.00 m. - 1.20 m.

Arcilla de color Pardo amarillento (CL), mediana plasticidad, moderado grado de hinchamiento y contracción, medianamente húmeda, con grado de compacidad y resistencia que aumentan con la profundidad, paredes de la calicata estables.



CALICATA C-19 (Línea de Aducción Progresiva 0+750).

0.00 m. - 1.20 m.

Arcilla de color beige (CL), producto del intemperismo de los esquistos, a medida que profundiza disminuye el grado de intemperismo, por tanto aumenta el nivel de dureza.



CALICATA C-20 (Laguna de Oxidación Antigua).

0.00 m. - 1.20 m.

Arcilla de color beige (CL), mediana plasticidad, moderado grado de hinchamiento y contracción, medianamente húmeda, con grado de compactad y resistencia que aumentan con la profundidad, paredes de la calicata estables.



CALICATA C-21 (Laguna de Oxidación Proyectada).

0.00 m. - 1.20 m.

Arcilla de color marrón claro (CL), mediana plasticidad, moderado grado de hinchamiento y contracción, medianamente húmeda, con grado de compacidad y resistencia que aumentan con la profundidad, paredes de la calicata estables.



Nota: Durante las excavaciones de las calicatas no se ha evidenciado la presencia de la Napa Freática.

4.3.- Ensayos de laboratorio.

En las calicatas excavadas se procedió al muestreo de los horizontes estratigráficos obteniéndose muestras disturbadas para los análisis granulométricos, plasticidad, peso específico, así como muestras de suelos cohesivos constituidos por monolitos que permitieron obtener los parámetros mediante ensayos de corte directo, asentamiento diferencial, etc.

Los ensayos de laboratorio en las muestras obtenidas en el campo se realizaron siguiendo las normas establecidas por la American Society for Testing Materials (ASTM), las cuales se detallan a continuación:

- Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D-422).
- Límites de Atterberg:
 - Límite líquido (ASTM D-423)
 - Límite plástico (ASTM D-424)
- Contenido de humedad natural (ASTM D-2216)
- Resistencia al corte directo en las muestras inalteradas.
- Proctor Standard y/o Modificado

- Análisis químico de las muestras alteradas.
- Permeabilidad
- Hinchamiento y Contracción

4.3.1.- Análisis granulométrico por tamizado.

Este ensayo realizado utilizando mallas de acuerdo a las normas ASTM, mediante lavado o en seco, que permitió la clasificación de los suelos como arcillas “CL”.

4.3.2.- Contenido de Humedad Natural.

De acuerdo a los ensayos realizados, se ha podido establecer que la humedad natural aumenta con la profundidad, se han podido establecer rangos de humedad natural de acuerdo a los tipos de suelos, pero generalmente son de bajo porcentaje de humedad.

CALICATA		PESO DEL RECIPIENTE (Gr.)*			PESO (Gr.)		HUMEDAD
MUESTRA	PROFUNDIDAD	SUELO	SUELO	VACIO	AGUA	SUELO	w %
ESTRATO	metros	HUMEDO	SECO			SECO	
C-1	1.50	201.30	176.60	27.70	24.70	148.90	16.59
C-2	2.00	186.00	151.40	28.30	34.60	123.10	28.11
C-4	2.00	285.00	235.40	35.00	49.60	200.40	24.75
C-5	1.80	250.00	209.70	31.00	40.30	178.70	22.55
C-6	2.10	156.00	132.10	30.50	23.90	101.60	23.52
C-7	2.00	126.00	108.60	29.50	17.40	79.10	22.00
C-8	2.00	191.80	156.50	28.40	35.30	128.10	27.56
C-9	2.10	219.00	186.50	28.90	32.50	157.60	20.62
C-10	1.80	194.30	160.20	28.20	34.10	132.00	25.83
C-11	2.00	312.20	262.70	32.50	49.50	230.20	21.50
C-12	1.10	215.00	185.60	31.20	29.40	154.40	19.04
C-13	1.50	124.50	108.70	28.80	15.80	79.90	19.77
C-14	1.00	184.60	162.30	30.40	22.30	131.90	16.91
C-15	1.00	246.50	212.30	28.70	34.20	183.60	18.63
C-16	2.30	351.20	293.30	30.40	57.90	262.90	22.02
C-17	1.50	231.20	198.70	24.80	32.50	173.90	18.69
C-18	1.50	281.40	240.30	28.00	41.10	212.30	19.36
C-19	1.50	223.40	197.40	24.60	26.00	172.80	15.05
C-20	2.00	285.60	246.50	30.00	39.10	216.50	18.06
C-21	2.00	124.30	108.70	24.50	15.60	84.20	18.53

4.3.3.- Límites de Atterberg

Ensayo indispensable para determinar la plasticidad de los materiales y se realizó utilizando la malla 40, de acuerdo a las normas ASTM y con ayuda del equipo de Casagrande, para obtener según el número de golpes el límite líquido

y por desecación el límite plástico para finalmente por diferencia obtener el índice de plasticidad de los materiales. Se ha determinado suelos de baja a mediana plasticidad. (Ver resultados de ensayos).

4.3.4.- Hinchamiento Libre.

El proceso de hinchamiento de suelos es característico de las arcillas que incrementan su volumen en función a la absorción de aguas de infiltración. Este proceso puede causar la expansión del suelo y producir roturas o fallas en la estructura cimentada. En los suelos arcillosos, que servirán de terreno de fundación se ha determinado la magnitud del hinchamiento libre del suelo, preparando una muestra cilíndrica y una vez colocado en el equipo se ha saturado la muestra hasta obtener la medida del máximo hinchamiento en el dial de deformaciones.

El porcentaje de hinchamiento se calculó mediante la fórmula:

$$UH = \frac{Ah}{ho} \times 100$$

Dónde:

UH = Magnitud del hinchamiento

Ah = Incremento de altura

ho = Altura inicial

4.3.5.- Límite de Contracción.

Con la finalidad de evaluar la contracción de las arcillas ante la disminución del contenido de agua en periodos de sequía se sometió la muestra tallada en un anillo de corte de área de 25.16 cm. y altura de 2.0 cm. previamente saturada y luego colocado en el horno a 110° C, durante 24 horas, habiéndose obtenido los siguientes valores promedios de límites de contracción.

Arcillas	Hinchamiento	Contracción
	%	%
C-1	16.40	16.07
C-2	15.10	14.57
C-4	14.80	14.69
C-5	14.50	14.21
C-6	15.60	15.02
C-7	14.60	14.25
C-8	14.50	14.39

C-9	15.20	14.98
C-10	14.20	13.98
C-11	15.40	15.29
C-13	14.80	14.41
C-15	14.95	14.76
C-16	14.20	14.14
C-17	15.22	15.07
C-19	15.15	14.91
C-20	16.03	15.91
C-21	15.60	15.52

4.3.6.- Resistencia Corte Directo de Suelos.

Con el propósito de evaluar las características del comportamiento del terreno; se realizaron los análisis de resistencia al corte en los materiales arcillosos, al igual que la resistencia y de tipo friccionante a medianamente denso, aplicando cargas sucesivas de 0.5, 1.0 y 1.5 kg/cm² sobre especímenes de suelo moldeados en anillos metálicos para diferentes profundidades.

Los ensayos de corte en la localidad de Tunal se realizaron entre 1.50 m. y 2.00 m., correspondiendo a suelos arcillosos del tipo CL, cuyos valores del ángulo de rozamiento interno (ϕ) fue de 28°, con valores de cohesión (0.08 kg/cm²), siendo la densidad del terreno de 1.73 gr/cm³.

4.3.7.- Ensayo de Permeabilidad de Carga.

Con la finalidad de obtener el grado de permeabilidad de los materiales en el sector de las lagunas de oxidación se programaron ensayos de permeabilidad en el laboratorio tomando como base suelos arcillosos (CL) con la finalidad de obtener valores generales para estos suelos determinándose que presentan valores variables en función al tipo de suelo, siendo de Bajo grado de permeabilidad los suelos arcillosos.

Arcillas	Coficiente de Permeabilidad cm/seg.	Grado de Permeabilidad
C-20	8.38E-04	BAJA
C-21	8.62E-04	BAJA

Grado de permeabilidad	Valor de k (cm/s)
Elevada	Superior a 10^{-1}
Media	10^{-1} a 10^{-3}
Baja	10^{-3} a 10^{-5}
Muy baja	10^{-5} a 10^{-7}
Prácticamente impermeable	Menor de 10^{-7}

4.3.8.- Densidad Máxima y Humedad Óptima.

Estas propiedades de los suelos naturales se han obtenido mediante el método de Compactación Próctor Modificado y los resultados muestran valores diferentes en función a la naturaleza homogénea del suelo.

DENSIDAD MAXIMA	1.89 - 1.93 gr/cm ³
HUMEDAD OPTIMA	9.00 - 9.50 %

4.4.- AGRESION DEL SUELO AL CONCRETO.

Los suelos arcillosos predominantes en el área de estudio, en el intervalo de 0.00 - 2.00 m. presentan contenido de sales solubles, cloruros, carbonatos y sulfatos que varían desde sumamente insignificantes a significantes y nos indican baja agresividad al concreto, pudiéndose utilizar cemento portland desde tipo MS para el diseño de concreto y Cemento tipo V para los buzones y obras de arte en contacto con las aguas servidas.

MUESTRA	PROFUNDIDAD	SALES	CLORUROS	SULFATOS	CARBONATOS	pH
		SOLUBLES				
	m	%.	%.	%.	%.	
ARCILLAS	0.00 - 2.00	0.040	0.0009	0.0240	-	7.10

Grado de Ataque de los Sulfatos al Concreto (so4)

Grado de ataque al concreto	Ppm	Cemento tipo
Despreciable	0-1000	Sin limitaciones
Perceptible (Moderado)	1000-2000	II o MS
Considerable (Severo)	2000-20000	V
Grave (Muy Severo)	>20000	V + puzolana

Grado de Ataque de los Cloruros y Sales Solubles Totales

Presencia en el suelo	ppm	Grado de	Observaciones
-----------------------	-----	----------	---------------

		alteración	
CLORUROS (Cl)	>6000	Perjudicial	Ocasiona problemas de corrosión de armaduras o elementos metálicos.
SALES SOLUBLES TOTALES (SST)	> 6000	Perjudicial	Ocasiona problemas de pérdida de resistencia mecánica por problema de lixiviación.

4.5.- Parámetros de Resistencia

4.5.1.- Ángulo de Fricción Interna

El ángulo de fricción interna, es uno de los parámetros de resistencia del suelo más utilizado para el cálculo de la resistencia del suelo.

4.6.- Clasificación de suelos

4.6.1.- Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS

En la zona de estudio se han encontrado suelos producto del intemperismo de las rocas metamórficas que predominan en la zona del proyecto, que mediante los análisis de Granulometría por tamizado y los índices de plasticidad han sido clasificados como: arcillas (CL), que han sido descritas en los perfiles estratigráficos que se acompañan al presente estudio.

4.7.- Diseño de Cimentaciones

En el análisis de cimentación se debe considerar los parámetros de ángulo de rozamiento interno, compacidad del suelo, peso volumétrico, ancho de la zapata, resistencia al corte directo y la profundidad de la cimentación. Así mismo en suelos arcillosos deberá estudiarse los problemas de expansividad y contracción.

4.7.1.- Capacidad Portante y Capacidad Admisible de Carga del Terreno.

Llamada También capacidad última de carga del suelo de cimentación, es la carga que puede soportar un suelo sin que su estabilidad sea amenazada. Para la determinación de la capacidad portante, se aplica la teoría de Terzaghi para zapatas continuas de base rugosa en el caso de un cohesivo o densos, tal como, se ha clasificado a los materiales encontrados, donde se instalara la infraestructura del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de La localidad de Tunal - Lalaquiz.

Para el instante de falla, Terzaghi presentó la siguiente ecuación que sirve para determinar la capacidad de carga límite de una cimentación corrida o continua para falla por corte general:

$$Q_c = (c \cdot N_c) + (\gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0.5 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma).$$

el que representa la capacidad de carga límite de la cimentación, siendo N_c , N_q y N_γ coeficientes sin dimensión que dependen únicamente del ángulo de fricción interna del suelo y se llama factores de capacidad de carga debidos a la cohesión, a la sobrecarga y al peso del suelo, respectivamente.

Terzaghi modificó a base de resultados experimentales, su fórmula fundamental para cimentaciones cuadradas, presentando las siguientes fórmulas empíricas:

Para zapatas cuadradas (aisladas):

$$Q_c = 1.3 \cdot (c' \cdot N'_c) + (\gamma \cdot D_f \cdot N'_q + 0.4 \gamma \cdot B \cdot N'_\gamma).$$

Para Placa Circular:

$$Q_c = c' \cdot N'_c + \gamma \cdot D_f \cdot N'_q + 0.6 \gamma \cdot B \cdot N'_\gamma$$

Dónde: Q_c = Capacidad Portante Kg/cm²

γ = Peso volumétrico gr/cm³.

B = Ancho de placa.

N'_c , N'_q y N'_γ = Factores de capacidad de carga

D_f = Profundidad de cimentación.

4.7.2.- Presión de Trabajo.

Llamada también presión de trabajo, presión de diseño o carga de trabajo, es la capacidad admisible del terreno y que se deberá usar como parámetro de diseño de la estructura.

$$P_t = \frac{Q_c}{F_s}$$

Dónde:

P_t = Presión de Trabajo (Kg/cm²).

Q_c = Capacidad de Carga (Kg/cm²).

F_s = Factor de Seguridad (3.0).

Los resultados se pueden apreciar en el cuadro correspondiente en función a los niveles superior e inferior establecidos.

CAPITULO V: CANTERAS.

5.1. Canteras

La evaluación comprende la determinación de las propiedades físico Mecánicas de los materiales de las canteras que servirán como material de agregados que se utilizaran en las obras civiles donde se proyecta la “Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable y Construcción de Alcantarillado en la Localidad de Tunal Lalaquiz”

La exploración y muestreo de las canteras de materiales de préstamo, necesarios para las obras de arte, tiene por finalidad ubicar y evaluar los materiales de las canteras aledañas, las cuales satisfagan las condiciones técnicas y además de tener las reservas necesarias para abastecer durante la etapa constructiva.

Para la ejecución de dichos trabajos fue necesario contar con planos geológicos y geomorfológicos de la zona de estudio y examinar los depósitos apropiados para su aprovechamiento: aluviales (Ríos y Quebradas), coluviales (Laderas de Cerros) y otros, en especial aquellos que tienen acceso mediante trochas carrozables.

La evaluación se ha seguido la siguiente Metodología:

1. Trabajo de campo: que consistió en el mapeo Geológico, muestreo de suelos y rocas, cartografiado de unidades litológicas y toma de muestras para su análisis respectivo.
2. Trabajo de Laboratorio: Ejecución de ensayos de suelos con fines de determinación de propiedades índices.
3. Trabajo de Gabinete: elaboración del plano Geológico y Geotécnico y ubicación de áreas críticas adyacentes al área de estudio
4. Interpretación de la Información obtenida y su evaluación.

5.1.1.- Ubicación y Acceso a la Cantera.

El área de estudio se encuentra ubicada en la localidad de Tunal - Lalaquiz, por lo que las canteras deben de estar en zonas cercanas con el fin de disminuir los costos de transporte de los materiales.

Después del reconocimiento geológico se ubicaron y evaluaron las siguientes canteras: La Quemazón, en la que se evaluó la calidad de sus materiales y la distancia más corta del lugar de obra.

En la siguiente tabla se muestra la distancia a la obra en km. y la ubicación de la cantera que se evaluó:

CANTERA	DISTANCIA A LA OBRA	UBICACIÓN
La Quemazón	25.5 km	La Quemazón (Río Bigote)

5.1.2.- Propiedades Físico Mecánicas de la Cantera

Con la finalidad de evaluar la calidad de los materiales para el concreto y obras de arte, se procedió a realizar los ensayos de laboratorio y obtener los valores de las propiedades índices que a continuación se detallan:

- Contenido de Humedad Natural.
- Granulometría por Tamizado
- Peso Específico
- Densidad Máxima y Humedad Optima
- Absorción
- Abrasión

5.1.3.- Tipos de Agregados y Usos

En la siguiente tabla se muestra los tipos de materiales a utilizar y los usos que tendrían en la obra de concreto, así como la calidad de los materiales:

CANTERA	MATERIALES	UTILIZACION	CALIDAD
La Quemazón	Gravas, Arenas	Concreto	Buena

5.1.4.- Cálculo de Reservas

Con la finalidad de obtener las reservas de materiales existentes y en función a las necesidades, se ha procedido a la determinación de las propiedades y dimensiones (peso específico, largo, ancho y espesor). Aplicando las fórmulas siguientes:

$$\text{Volumen} = L \times a \times e$$

$$\text{Tonelaje} = V \times P.e.$$

Dónde:

L = Largo

a = Ancho

e = Espesor

Pe = Peso específico

Fe = Factor de esponjamiento = 1.3

Se ha llegado a determinar los siguientes volúmenes y tonelaje de materiales según canteras, tal como se detalla en la siguiente tabla:

CANTERA	MATERIAL	LARGO	ANCHO	AREA	ESPESOR
		m	m	m ²	M
LA QUEMAZÓN	AGREGADO	360.00	200.00	72,000.00	3.500
	ESTÉRIL	360.00	200.00	72,000.00	1.000

VOLUMEN	PESO ESPECÍFICO	TONELAJE EXPLOTABLE	RELACIÓN ESTERIL
m ³	gr/cm ³	TM	
252,000.00	2.66	670,320.00	3.64
72,000.00	2.56	184,320.00	

CONCLUSIONES.

1. La zona de estudio se encuentra emplazada sobre rocas metamórficas del tipo Esquistos Pelíticos o Cuarzosos pertenecientes al Complejo de Olmos (Pe-co).
2. Desde el punto de vista geológico, la zona de estudio se asienta sobre suelos de tipo deluvial de edad cuaternario reciente, constituidas por materiales de arcillas producto del intemperismo de las rocas metamórficas.
3. Geomorfológicamente, el área de estudio se ubica en las laderas del cerro Tunal, con pendientes fuertes y forman quebradas que en épocas de fuertes precipitaciones pluviales transportan grandes cantidades de agua.
4. El nivel de meteorización de los Esquistos en la zona del proyecto varían desde Roca Muy Meteorizada a Completamente Meteorizada Grado IV y V y Suelo Residual Grado VI y desde el punto de vista de excavabilidad en:
 - **MATERIAL SUELTO**
 - **ROCA FRACTURADA O ROCA SUELTA**
 - **ROCA BASAMENTO INALTERADA O ROCA FIJA**
5. Durante los trabajos de campo, el periodo lluvioso estaba en su etapa final, por lo que los niveles de saturación de suelos y rocas eran altos, lo que genera que la dureza de los suelos y rocas eran, relativamente medianos a bajos, éstos niveles irán en aumento al aumentar los niveles de evaporación que se incrementan en épocas de estiaje.

6. El sistema de drenaje dominante es del tipo lineal, con presencia de quebradas.
7. Desde el punto de vista de la Geodinámica Externa, los principales fenómenos que dominan el área de estudio son: la erosión y socavamiento en sectores de las quebradas, formación de cárcavas en sectores por donde discurren las aguas pluviales en épocas de fuertes precipitaciones pluviales.
8. La cimentación de la infraestructura del Sistema de Agua Potable y Desagüe, como son Reservoirio Apoyado, buzones y Lagunas de Oxidación se proyectarán sobre depósitos de arcillas tipo (CL) no influenciadas por la napa freática.
9. De acuerdo a la información obtenida tanto de campo como de gabinete se estableció que las obras se realizarán sobre suelos con determinadas condiciones geotécnicas:
 - Arcilla de color Beige (CL), mediana plasticidad, moderado grado de hinchamiento, moderado grado de contracción.

Nota: Durante las excavaciones de las calicatas no se ha evidenciado la presencia de la Napa Freática.

LÍMITES DE ATTERBERG

SECTOR AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO

MUESTRA	C-1	C-2	C-4	C-5	C-6
% Límite Líquido	46.30	39.00	40.00	39.60	40.50
% Límite Plástico	27.72	22.66	21.14	21.65	23.30
% Índice de Plasticidad	18.58	16.34	18.86	17.95	17.20

C-7	C-8	C-9	C-10	C-11
38.50	40.00	39.20	40.10	38.00
19.15	18.66	20.45	17.98	19.15
19.35	21.34	18.75	22.12	18.85

SECTOR LÍNEA DE CONDUCCIÓN

MUESTRA	C-13	C-15
% Límite Líquido	40.50	36.50
% Límite Plástico	22.23	16.81
% Índice de Plasticidad	18.27	19.69

SECTOR RESERVOIRIO Y LÍNEA DE ADUCCIÓN

MUESTRA	C-16	C-17	C-19
% Límite Líquido	35.70	35.00	41.50
% Límite Plástico	16.39	16.06	21.16
% Índice de Plasticidad	19.31	18.94	20.34

SECTOR LAGUNAS TRATAMIENTO

MUESTRA	C-20	C-21
% Límite Líquido	39.00	39.60
% Límite Plástico	18.09	20.36
% Índice de Plasticidad	20.91	19.24

HUMEDAD NATURAL

CALICATA	PROFUNDIDAD metros	PESO DEL RECIPIENTE (Gr.) +			PESO (Gr.)		HUMEDAD %
MUESTRA		SUELO	SUELO	VACIO	AGUA	SUELO	
ESTRATO		HUMEDO	SECO			SECO	
C-1	1.50	201.30	176.60	27.70	24.70	148.90	16.59
C-2	2.00	186.00	151.40	28.30	34.60	123.10	28.11
C-4	2.00	285.00	235.40	35.00	49.60	200.40	24.75
C-5	1.80	250.00	209.70	31.00	40.30	178.70	22.55
C-6	2.10	156.00	132.10	30.50	23.90	101.60	23.52
C-7	2.00	126.00	108.60	29.50	17.40	79.10	22.00
C-8	2.00	191.80	156.50	28.40	35.30	128.10	27.56
C-9	2.10	219.00	186.50	28.30	32.50	157.60	20.62
C-10	1.80	194.30	160.20	28.20	34.10	132.00	25.83
C-11	2.00	312.20	262.70	32.50	49.50	230.20	21.50
C-12	1.10	215.00	185.60	31.20	29.40	154.40	19.04
C-13	1.50	124.50	108.70	28.80	15.80	79.90	19.77
C-14	1.00	184.60	162.30	30.40	22.30	131.90	16.91
C-15	1.00	246.50	212.30	28.70	34.20	183.60	18.63
C-16	2.30	351.20	293.30	30.40	57.90	262.90	22.02
C-17	1.50	231.20	198.70	24.80	32.50	173.90	18.69
C-18	1.50	281.40	240.30	28.00	41.10	212.30	19.36
C-19	1.50	223.40	197.40	24.60	26.00	172.80	15.05
C-20	2.00	285.60	246.50	30.00	39.10	216.50	18.06
C-21	2.00	124.30	108.70	24.50	15.60	84.20	18.53

HINCHAMIENTO Y CONTRACCIÓN

Arcillas	Hinchamiento	Contracción
	%	

C-1	16.40	16.07
C-2	15.10	14.57
C-4	14.80	14.69
C-5	14.50	14.21
C-6	15.60	15.02
C-7	14.60	14.25
C-8	14.50	14.39
C-9	15.20	14.98
C-10	14.20	13.98
C-11	15.40	15.29
C-13	14.80	14.41
C-15	14.95	14.76
C-16	14.20	14.14
C-17	15.22	15.07
C-19	15.15	14.91
C-20	16.03	15.91
C-21	15.60	15.52

PERMEABILIDAD

Arcillas	Coefficiente de Permeabilidad	Grado de Permeabilidad
	cm/seg.	
C-20	8.38E-04	BAJA
C-21	8.62E-04	BAJA

Los valores de capacidad admisible, varían para diferentes profundidades:

SECTOR ALCANTARILLADO

TIPO DE ESTRUCTURA	Df m	B m	γ gr/cm ³	c Kg/cm ²	ϕ	N°c	N°q	N° γ	Qc Kg/cm ²	Pt Kg/cm ²
	1,80	0,40	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	3,574	1,191
	2,00	0,40	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	3,782	1,261
	2,20	0,40	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	3,989	1,330
	2,40	0,40	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	4,197	1,399
	2,60	0,40	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	4,404	1,468
ZAPATA ANULAR	1,80	0,50	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	3,584	1,195
	2,00	0,50	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	3,792	1,264
	2,20	0,50	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	4,000	1,333
	2,40	0,50	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	4,207	1,402
	2,60	0,50	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	4,432	1,477
	1,80	0,60	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	3,595	1,198
	2,00	0,60	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	3,802	1,267
	2,20	0,60	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	4,010	1,337
	2,40	0,60	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	4,217	1,406
	2,60	0,60	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	4,446	1,482

SECTOR RESERVORIO APOYADO

TIPO DE ESTRUCTURA	Df m	B m	γ gr/cm ³	c Kg/cm ²	ϕ	N°c	N°q	N° γ	Qc Kg/cm ²	Pt Kg/cm ²
	1,00	0,75	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	2,448	0,816
	1,20	0,75	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	2,655	0,885
	1,50	0,75	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	2,967	0,989
CIMENTACION	1,80	0,75	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	3,278	1,093
CORRIDA	2,00	0,75	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	3,486	1,162
O										
ZAPATAS	1,00	1,00	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	2,491	0,830
CONTINUAS	1,20	1,00	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	2,699	0,900
	1,50	1,00	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	3,010	1,003
	1,80	1,00	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	3,321	1,107
	2,00	1,00	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	3,529	1,176
	1,00	1,20	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	2,868	0,956
	1,20	1,20	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	3,076	1,025
	1,50	1,20	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	3,387	1,129
ZAPATAS	1,80	1,20	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	3,698	1,233
ASLADAS	2,00	1,20	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	3,906	1,302
O										
CUADRADAS	1,00	1,50	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	2,910	0,970
	1,20	1,50	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	3,117	1,039
	1,50	1,50	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	3,429	1,143
	1,80	1,50	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	3,740	1,247
	2,00	1,50	1,73	0,08	28,0	16,00	6,0	2,0	3,948	1,316

10. En la progresiva 0+240 de la línea de conducción, se ha observado la existencia de un Desarenador.
11. En todas las calicatas excavadas NO se detectó Napa Freática.
12. Durante las excavaciones de las calicatas se ha observado una relativa estabilidad de las paredes de las calicatas, con un ángulo de talud natural entre 86-88°; mientras que el ángulo de fricción interna para las arcillas es de 28°.
13. Los elementos del cimiento deberán ser diseñados de modo que la presión de contacto (carga estructural del edificio o estructura entre el área de cimentación) sea inferior ó cuando menos igual a la presión de diseño o capacidad admisible.
14. Para la instalación de la tubería de Conducción, Aducción, Alcantarillado, Agua y Colectores Principales, se debe tener en cuenta lo siguiente:
 - a. Compactar los suelos arcillosos de acuerdo a la densidad máxima y humedad óptima del Próctor Modificado.
 - b. Antes de instalar la tubería se debe apisonar el fondo de la zanja y luego colocar una base de hormigón de 0.10 m. de espesor como mínimo y de 0.10 m. de arena de grano grueso, con la finalidad de amortiguar los procesos de hinchamiento y contracción de las arcillas y de nivelar el fondo de cimentación, respectivamente.
 - c. Después de colocar la tubería se debe rellenar con materiales propios, compactándolos cada 0.20 - 0.30 m. de acuerdo a la densidad máxima y

humedad óptima del próctor modificado obtenido del suelo, utilizado como material de relleno, evitando que los suelos contengan residuos sólidos. El material de relleno existente que contiene desechos sólidos y materiales orgánicos se deben eliminar del lugar.

- d. Línea de conducción: en sectores de roca fija, la tubería deberá ser anclada y en sectores de suelo suelto y roca suelta, enterrado a una profundidad de 0.80 m. como mínimo y a criterio del proyectista.
- e. Línea de aducción: la tubería deberá ser colocada a una profundidad mínima de 0.80 m. en terreno suelto y a criterio del proyectista.

15. Para la construcción del Reservorio Apoyado:

- a. La cimentación será del tipo superficial con profundidad mínima de 1.50 m. bajo criterio del proyectista.
- b. Compactar los suelos arcillosos (terreno de fundación) de acuerdo con la densidad máxima y humedad óptima del Próctor modificado.
- c. Es necesario mejorar el suelo de cimentación colocando una capa 0.10 a 0.20 m. de espesor de material granular tipo hormigón de hasta 2” de diámetro con la finalidad de neutralizar asentamientos relativos, luego colocar una capa de mortero de concreto en relación 1:12, para nivelar la superficie de cimentación.
- d. Los elementos del cimiento deberán ser diseñados de modo que la presión de contacto (carga estructural de la obra) en el área de cimentación, sea inferior o cuando menos igual a la presión de diseño o capacidad admisible.

16. Para la Construcción de Buzones:

- a. La cimentación será del tipo superficial con profundidad mínima de 1.50 m. bajo criterio del proyectista.
- b. Compactar los suelos arcillosos (terreno de fundación) de acuerdo con la densidad máxima y humedad óptima del Próctor modificado.
- c. Es necesario mejorar el suelo de cimentación colocando una capa 0.10 a 0.20 m. de espesor de material granular tipo hormigón de hasta 2” de diámetro, con la finalidad de neutralizar asentamientos relativos, luego colocar una capa de mortero de concreto en relación 1:12 para nivelar el fondo de cimentación.

- d. Los elementos del cimiento deberán ser diseñados de modo que la presión de contacto (carga estructural de la obra) en el área de cimentación, sea inferior ó cuando menos igual a la presión de diseño o capacidad admisible.
17. Para la construcción de las Lagunas de Tratamiento:
- a. Limpieza, nivelación y escarificado del terreno donde se ubicarán las lagunas, necesarios para la conformación del fondo y diques.
 - b. Para la construcción de los terraplenes, ir compactando capas de 0.20 m. hasta alcanzar el espesor proyectado.
 - c. La pendiente de los taludes, necesaria para la seguridad de los diques, se sugiere 1:3 (V:H).
 - d. Para la conformación de los diques y los taludes se deben utilizar material de gravas arcillosas con un IP de 15% y conformarlos en capas de 0.20 a 0.30 m. compactados con la densidad máxima del Próctor modificado.
 - e. La corona de los diques debe tener una capa de afirmado con un IP de 6 a 9 %, compactadas, luego de estar conformado el dique se debe impermeabilizar los taludes y el fondo de las lagunas en un espesor de 0.30 m. como mínimo.
 - f. Los suelos identificados, tienen una permeabilidad baja, debiendo utilizar material impermeabilizante con índices de permeabilidad de $k=10^{-6}$ como mínimo ó utilizar geotextiles para evitar la infiltración.
18. El contenido de sales solubles es de 0.040 %, cloruros de 0.009 %, sulfatos de 0.024 % y ausencia de carbonatos, particularmente a la profundidad de instalación de las tuberías, que muestran poca agresividad del suelo al concreto.
19. Para la construcción de buzones con sus tapas se debe utilizar cemento portland tipo V y para las obras de arte cemento tipo MS, debido a los valores moderados de cloruros, sulfatos y sales solubles que muestran agresividad media a baja, así mismo para las obras de Reservoirio Apoyado y lagunas de oxidación.
20. Considerando que cíclicamente se presentan fuertes precipitaciones pluviales, es necesario diseñar sistemas de drenaje que eviten la infiltración de aguas y puedan originar asentamientos futuros y dañar las estructuras proyectadas.
21. Para la Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable y Construcción de Alcantarillado en la Localidad de Tunal - Lalaquiz, se puede utilizar los materiales

de agregados de la cantera “La Quemazón” en el diseño de mezcla de concreto, para lo cual deberá zarandearse para clasificar los materiales.

BIBLIOGRAFÍA.

1. BOWLES J.E. Manual de Laboratorio de Suelos en ingeniería civil. Editorial Italgrad S.A. Bogotá
2. DAVILA BURGA J. Diccionario Geológico. Talleres Gráficos Full Grafic S.R.L.
3. GONZÁLEZ DE VALLEJO LUIS, Ferrer Mercedes, Ortuño Luis y Otero Carlos (2002); Ingeniería Geológica. Ediciones Prentice. Madrid - España
4. HENRRI CAMBEFORT.- Geotecnia del Ingeniero - Reconocimiento de Suelos.
5. HUANCA A.R. (1996) “Mecánica de suelos”. Editores - HB, segunda edición: Lima - Perú.
6. INGEMMET (1995), Boletín N° 55, Serie A: Carta Geológica Nacional, Lima - Perú.
7. JIMÉNEZ SALAS, J. A. et al., 1980. Geotecnia y Cimientos III. Cimentaciones, excavaciones y aplicaciones de la Geotecnia. (2 volúmenes).
8. JUAREZ Badillo, Eulalio; (1996), “Mecánica de Suelos: Tomo I, II y III”, Editorial Limusa, México.

9. KRYNINE P.D. JUDD W. - 1972 - Principios de geología y Geotecnia para Ingenieros, Traductor: José M. Ríos. Tercera edición. Barcelona, España 828p.
10. LAHEE F.H. (1979) “Geología aplicada”. Quinta edición OMEGA S.A. Barcelona - España 498p.
11. LAMBE, William T. y WHITMAN, Robert V.; 1989, “Mecánica de Suelos”, Editorial Limusa, México.
12. MERITANO J. (1979), “Geología Para Estudiantes de Ingeniería”. Edición Diana. México. 262p.
13. MARTINEZ V. A. 1990, Geotecnia para Ingenieros Principios Básicos, Volumen I CONCYTEC UNI Lima Perú.
14. MOREANO, S. JUAN. Estudio Sísmico de la región del Nor-Oeste del Perú. Universalía. Revista Científica de la Universidad Nacional de Piura. Septiembre, 1994.
15. RIVERA M. (2005), “Geología General”. Segunda edición. Lima - Perú.
16. TERZAGHI K. VALLE R.R. 1980, Mecánica de suelos Aplicada a la ingeniería Práctica.

Testimonio Fotográfico



Rocas metamórficas en la zona de captación



Rocas metamórficas, alteradas en superficie é intactas en profundidad en la zona de los Colectores (Hacia las lagunas antiguas)



Vista panorámica de la topografía predominante en la zona de captación - línea de conducción



Esquistos alterados en la línea de conducción

ENSAYOS DE LABORATORIO

MAPAS